

PHYSIQUE APPLIQUEE

Durée : 4 heures Coefficient : 3

ETUDE DE DIFFERENTS MODES DE COMMANDE D'UNE MACHINE A COURANT CONTINU

Le sujet porte sur l'étude de différents aspects du fonctionnement d'une machine à courant continu (notée MCC) alimentée soit par une source de tension (partie A, commande en tension), soit par un convertisseur de puissance alternatif-continu associé à un transformateur triphasé abaisseur de tension (partie B, commande en vitesse avec limitation de courant). Dans ce dernier cas, on s'intéressera aux signaux en amont du convertisseur (partie C).

Cette étude comporte trois parties, liées entre elles, mais pouvant être traitées indépendamment les unes des autres.

Les pages 8, 9, 10 et 11 sont des documents-réponse à rendre en fin d'épreuve

Dans tout le problème, on fera les hypothèses suivantes :

- MCC est une machine à excitation indépendante constante, parfaitement compensée. Sa f.é.m. E est liée à sa vitesse angulaire Ω par la relation $E = K.\Omega$ avec $K = 1,62 \text{ V.s.rad}^{-1}$.
- L'inductance du bobinage d'induit est négligée.
- Les thyristors du convertisseur sont parfaits.
- Le transformateur triphasé est parfait et fournit une tension secondaire de valeur efficace $U_{ab} = 230 \text{ V}$

A) ETUDE DE LA MACHINE A COURANT CONTINU COMMANDEE EN TENSION :

Données sur MCC:	Tension d'induit nominale	: $U_{an} = 260 \text{ V}$
	Courant d'induit nominal	: $I_n = 9,1 \text{ A}$
	Courant inducteur nominal	: $i_{exn} = 0,65 \text{ A}$
	Résistance d'induit	: $R_a = 1,25\Omega$
	Fréquence de rotation nominale	: $N_n = 1400 \text{ tr.min}^{-1}$

Dans un essai en moteur à vide alimenté par une source de tension continue parfaite, on a relevé :

Tension d' induit	: $U_{a0} = 220 \text{ V}$
Courant d' induit	: $I_0 = 0,30 \text{ A}$
Fréquence de rotation	: $N_0 = 1293 \text{ tr.min}^{-1}$
Courant inducteur	: $i_{ex} = 0,65 \text{ A}$

On réalise un essai de ralentissement dans les conditions suivantes : MCC fonctionnant à vide dans les conditions ci-dessus, on ouvre à l' instant t_0 pris comme origine des temps le circuit d' induit (le circuit inducteur reste branché). Le relevé de la courbe de ralentissement $\Omega(t)$ permet de noter que la pente de cette courbe vaut $-16,2 \text{ rad.s}^{-2}$ pour $t = t_0 = 0$.

A-I) Détermination du moment d' inertie J de MCC :

A-I-1) A partir des données de l' essai à vide, déterminer l' ensemble des pertes mécaniques et ferromagnétiques P_{mf} de MCC lors de cet essai.

A-I-2) Ces pertes sont proportionnelles à la vitesse de rotation. Montrer que le moment du couple de freinage, lors de l' essai de ralentissement, est constant. Calculer sa valeur T_0 .

A-I-3) Ecrire l' équation différentielle régissant l' évolution de la vitesse de rotation Ω (exprimée en rad.s^{-1}) en fonction du temps t lors de cet essai de ralentissement.

En déduire la valeur du moment d' inertie J de MCC.

A-I-4) Tracer, sur la copie, l' allure de la courbe de ralentissement $\Omega(t)$ en la justifiant.

Au bout de combien de temps le moteur s' arrête-t-il ?

Pour la suite du problème, MCC est accouplée à une charge. Le moment d'inertie équivalent ramené sur l'arbre J de l'ensemble (MCC+charge) est égal à $0,12 \text{ kg.m}^2$.

On négligera dorénavant les pertes mécaniques et ferromagnétiques de MCC.

A-II) Commande en tension de la machine à courant continu associée à sa charge : dans cette partie, MCC est alimentée par une source de tension parfaite réversible en tension et en courant. La tension délivrée, notée U , est une tension continue réglable. L' inductance de lissage L de la figure 1(p.5) n' est pas utilisée.

A-II-1) En régime continu permanent, donner l' expression du moment du couple électromagnétique T fourni par MCC, en fonction de U et Ω et l' écrire sous la forme :

$$T = a U - b \Omega$$

Exprimer les constantes a et b en fonction de K et de R_a et donner les valeurs numériques de a et b .

A-II-2) En utilisant le document-réponse n°1 page 8, tracer les caractéristiques mécaniques $T(\Omega)$ en régime permanent de MCC pour les valeurs suivantes de la tension U :

$$U_1 = 220 \text{ V} \qquad U_2 = 235 \text{ V}$$

Pour la suite de la partie A et la partie B, la charge exerce sur l' axe de MCC un couple résistant T_r constant de moment 8,0 N.m.

A-II-3) Déterminer la valeur de l' intensité du courant d' induit I absorbé en régime permanent.

A-II-4) Quelles sont alors dans le plan $T(\Omega)$ les coordonnées des points de fonctionnement $F_1 (T_1 ; \Omega_1)$ et $F_2 (T_2 ; \Omega_2)$ en régime permanent pour une alimentation sous les tensions respectivement de valeur U_1 puis U_2 ?

A-II-5) La machine MCC étant alimentée sous la tension $U = U_1$, on applique à l' induit à un instant t_0 choisi comme origine des temps un échelon de tension ΔU faisant passer U de la valeur U_1 à la valeur U_2 . On fait l' hypothèse que la constante de temps de l' intensité du courant est négligeable, devant la constante de temps mécanique, ce qui revient à dire que l' intensité du courant change de valeur quasi instantanément.

A-II-5-1) Soit t_0^+ l' instant immédiatement après t_0 .

a) Montrer que $\Omega(t_0^+) = \Omega_1$.

b) En déduire la valeur de $T(t_0^+)$; on pourra utiliser les tracés effectués dans le plan $T(\Omega)$ du document réponse n°1 correspondant à la question précédente.

c) En déduire la valeur du moment du couple d' accélération $\left(J \frac{d\Omega}{dt} \right)$ à l' instant t_0^+ .

A-II-5-2) En déduire la pente de la courbe $\Omega(t)$ à l' instant t_0^+ . Esquisser, sur la copie, l' allure de la courbe $\Omega(t)$ à partir de l' application de l' échelon de tension en indiquant :

- la pente de la tangente à l' origine,
- les vitesses initiale et finale du moteur,
- le temps mis par MCC pour accomplir la totalité de l' excursion de vitesse à 5% près .

(On utilisera ici pour valeur de la constante de temps mécanique du dispositif tournant : $\tau = 57$ ms).

A-II-5-3) Déterminer la valeur de l' intensité du courant d' induit à l' instant t_1^+

A-II-5-4) En utilisant le document-réponse n°1, décrire le trajet du point de fonctionnement dans le plan $T(\Omega)$ pour passer de F_1 à F_2 .

A-II-6) La machine MCC étant alimentée sous la tension $U = U_2$, on applique à l' induit à un instant t_1 choisi comme origine des temps un échelon de tension $-\Delta U$ faisant passer U de la valeur U_2 à la valeur U_1 .

Soit t_1^+ l' instant suivant immédiatement t_1

En utilisant les mêmes raisonnements qu' à la question A-II-5-1 :

a) Donner la valeur du moment du couple $T(t_1^+)$

b) Donner la valeur du moment du couple de décélération $\left(J \frac{d\Omega}{dt} \right)$ à t_1^+ .

c) Donner la valeur de l' intensité $I(t_1^+)$ du courant.

d) Interpréter le signe de ce courant.

e) Décrire dans le plan $T(\Omega)$ du document réponse n°1 le trajet du point de fonctionnement pour passer de F_2 à F_1 .

B) COMMANDE EN VITESSE AVEC LIMITATION DE COURANT

La machine MCC est maintenant alimentée par un convertisseur alternatif-continu réversible en tension et en courant. Il est constitué de deux ponts triphasés à thyristors montés tête-bêche selon le schéma de la figure n°1. A chaque instant, un seul pont fonctionne, l' autre étant alors bloqué par une commande logique. Ce convertisseur permet de commander la vitesse de MCC en choisissant une consigne de vitesse. Cependant, afin de protéger le matériel, une limitation du courant d' induit est incorporée au convertisseur. Lorsque cette limitation, dont le niveau est choisi par l' opérateur, est atteinte, elle est prioritaire sur la consigne de vitesse.

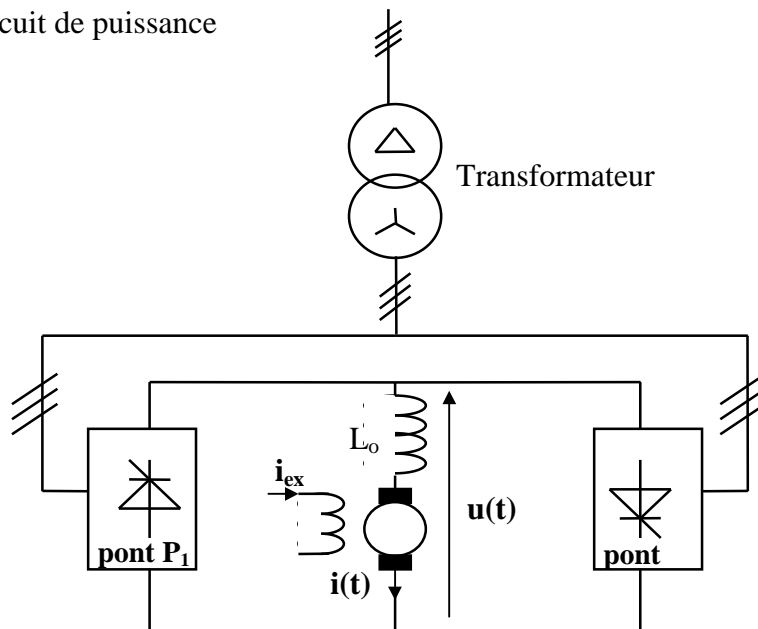
Une bobine de lissage d' inductance L_o , de résistance négligeable, en série avec l' induit, permet de considérer **le courant d' induit comme un courant continu en régime établi** La limitation de l' intensité I du courant d' induit est fixée en valeur absolue à 12 A.

On rappelle que la charge de MCC exerce un couple résistant constant de moment 8,0 N.m et que le moment d' inertie J de l' ensemble (MCC + charge) vaut $0,12 \text{ kg}^2\text{m}$

La vitesse est comptée positivement lorsque la valeur moyenne de $u(t)$ est positive.

On considère que la constante de temps électrique du système reste négligeable.

Figure n°1: schéma du circuit de puissance



B-I) Quelle est la limite du moment du couple électromagnétique de MCC compte tenu de cette limitation en courant ?

B-II) On commande une évolution en vitesse $\Omega(t)$ conforme à celle du document réponse n°2 de la page 9.

B-II-1) Tracer sur ce document-réponse n°2 la courbe $T(t)$ d' évolution du moment du couple électromagnétique en fonction du temps.

B-II-2) Compléter le tableau du document-réponse n°2, page 9, dans lequel on précisera :

- quel est à chaque instant le pont actif : P_1 ou P_2 ;
- quel est son rôle : redresseur ou onduleur ;
- quel est le rôle de MCC : moteur ou génératrice.

B-II-3) En utilisant le document-réponse n°3, page 10, décrire dans le plan $T(\Omega)$ le trajet du point de fonctionnement lors de cette évolution de vitesse.

B-III) On modifie la limitation de l' intensité du courant I que l' on fixe à 7,0 A. Montrer que la loi d' évolution de vitesse de la question **B-II** est alors impossible à réaliser. Tracer sur le document-réponse n°2 la courbe $\Omega(t)$ compatible avec cette limitation et qui se rapproche le plus de la courbe $\Omega(t)$ de la question **B-II**.

C) ETUDE DES SIGNAUX EN AMONT DU CONVERTISSEUR.

Le convertisseur alimentant MCC est constitué de deux ponts triphasés à six thyristors considérés comme parfaits. L' ensemble est alimenté par un système triphasé, équilibré, direct de tensions sinusoïdales (v_R, v_S, v_T) de fréquence f (pulsation ω) à travers un transformateur triphasé (voir figure n°1 page 5).

Ce transformateur est couplé en triangle-étoile selon le schéma ci-dessous et il est considéré comme parfait.

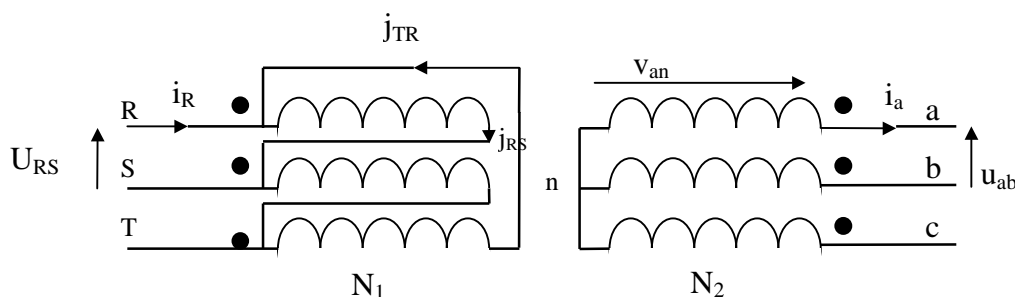


Figure n°2: couplage du transformateur

Le rapport de transformation par colonne $\frac{N_2}{N_1}$ est noté m . La tension secondaire a une valeur efficace

$$U_{ab} = 230 \text{ V.}$$

On considère un état de fonctionnement pour lequel le pont P_1 est actif et commandé de sorte que la valeur moyenne U_{moy} de la tension $u(t)$ vaut alors 220V. Le courant d' induit, continu, a une intensité I de valeur 6,0 A.

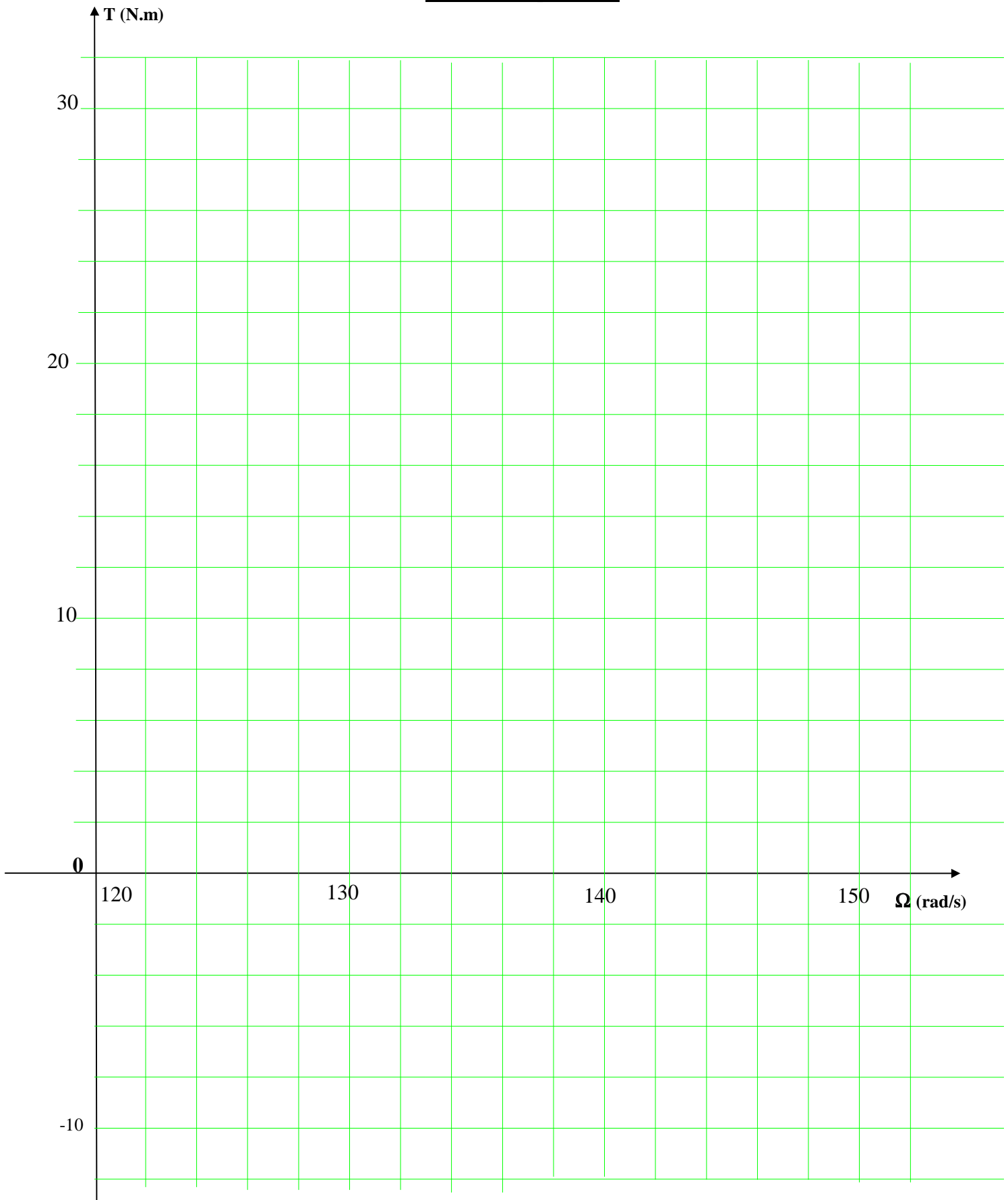
C-I) Le courant $i_a(\omega t)$ est représenté sur le document-réponse n°4. Représenter sur ce même système d' axes l' allure du fondamental $i_{aF}(\omega t)$ de $i_a(\omega t)$.

Quel est le déphasage φ_F du fondamental $i_{aF}(\omega t)$ de $i_a(\omega t)$ par rapport à la tension $v_{an}(t) = V_{an} \cdot \sin(\omega t)$?

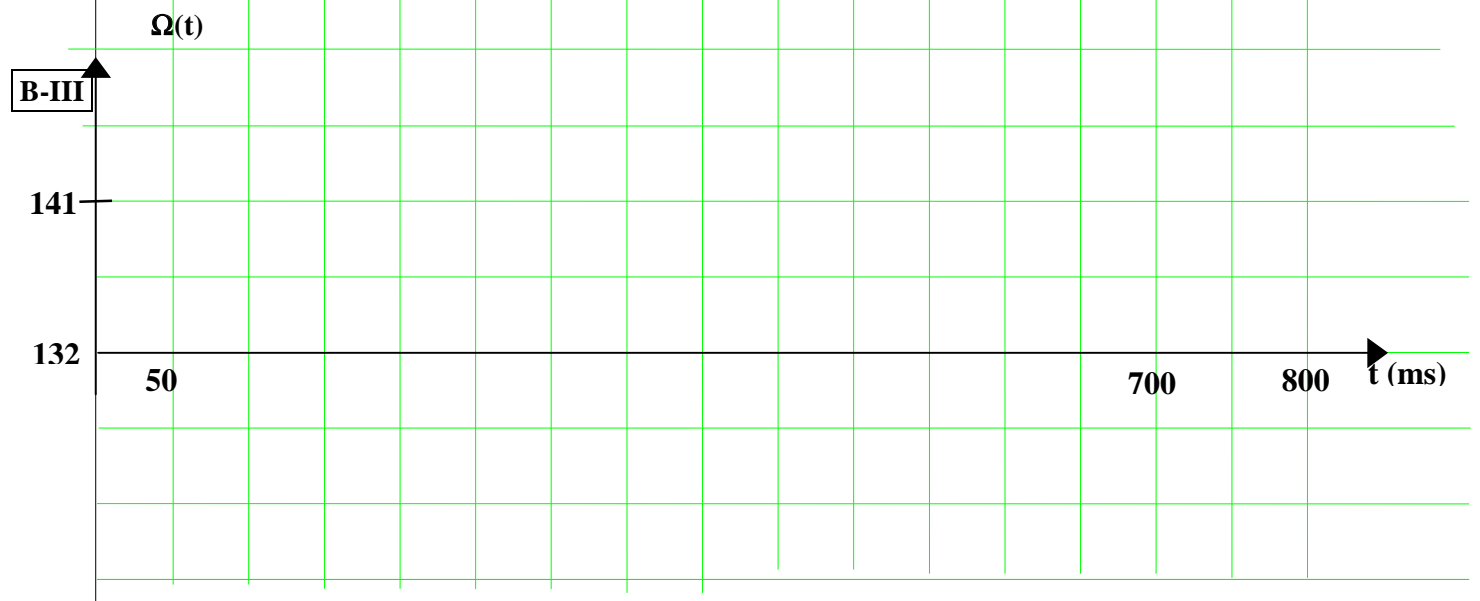
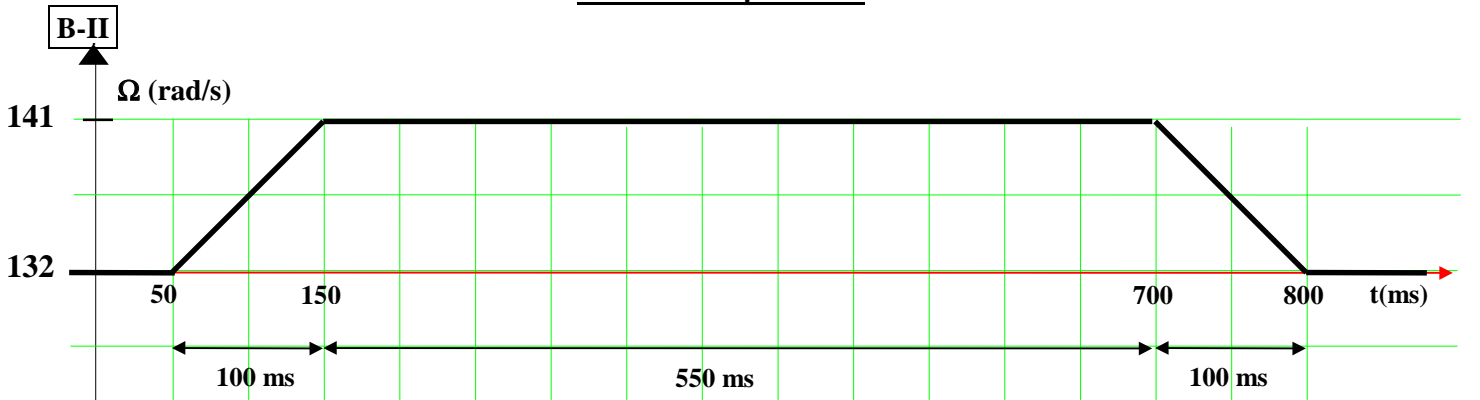
C-II) On donne $m = 0,333$. Représenter sur le document-réponse n°4 les courants $j_{RS}(t)$, $j_{TR}(t)$ et $i_R(t)$.

C-III) Déterminer les intensités efficaces I_a de $i_a(t)$, J_{RS} de $j_{RS}(t)$ et I_R de $i_R(t)$.

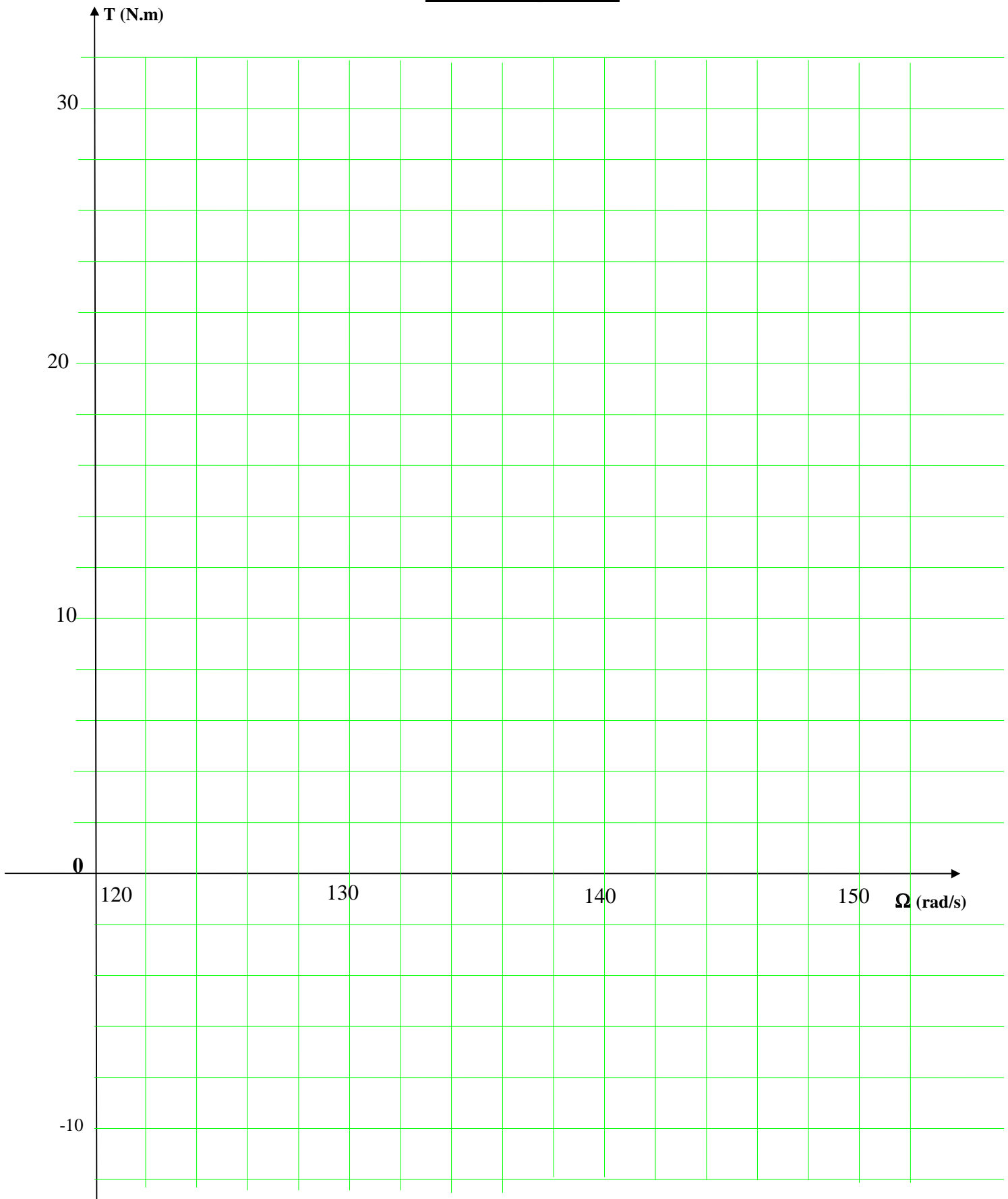
Document-réponse n°1



Document-réponse n°2



Document-réponse n°3



Document-réponse n°4

